

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Racionalizace opracování vedení navíjecích zařízení na
stroji FUQ 150 CNC

Rationalization of Winding Equipment Slide at
FUQ 150 CNC

Student:

Břetislav Přecechtěl

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Robert Čep, Ph.D.

Ostrava 2009

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Racionalizace opracování vedení navíjecích zařízení na stroji FUQ 150 CNC

Rationalization of Winding Equipment Slide at FGU 150 CNC

Student: Břetislav Přecechtěl
Studijní obor: 2303R002 – 70 Strojírenská technologie
Pracoviště: Katedra obrábění a montáže – 346

Zásady pro zpracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Přehled rezných materiálů.
3. Experimentální testování nových nástrojů.
4. Výběr vhodného nástroje.
5. Zhodnocení a závěr.

Pokyny pro zpracování:

Rozsah práce: Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Seznam doporučené literatury:

- VASILKO, K., NOVÁK-MARCINČIN, J., HAVRILA, M. *Výrobné inžinierstvo*. Prešov : Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
- NESLUŠAN, M., TUREK, S., BRYCHTA, J., ČEP, R., TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- BRYCHTA, J., HAVRILA, M., JURKO, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, I. část – Obrávané materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- ZAJAC, J., JURKO, J., ČEP, R. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- VASILKO, K., HAVRILA, M., MARCINCIN-NOVÁK, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o., Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Robert Čep, Ph.D.


Datum zadání bakalářské práce:

8. října 2008

Akademický rok:

2008/2009




.....
doc. Dr. Ing. Josef BRYCHTA
vedoucí katedry


.....
prof. Ing. Radim FARANA, CSc.
děkan

V Ostravě dne 1. října 2008

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

Břetislav Přecechtěl

Drahlov 168

783 75 Charváty

Anotace bakalářské práce

PŘECECHTĚL, B. Racionalizace opracování vedení navíjecích zařízení na stroji FUQ 150 CNC. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, 51 s. Bakalářská práce, vedoucí Čep, R.

Bakalářská práce má za cíl zvolit vhodný nástroj a dosáhnout snížení výrobních nákladů při hrubovacím frézování vedení navíjecího zařízení ve firmě Vítkovice Gearworks. Práce obsahuje přehled rezných materiálů. Při řešení vychází s původního stavu řešení problému. Byly provedeny zkoušky dvou nástrojů s břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Na základě provedených zkoušek jsou zvoleny řezné podmínky a vypočítány náklady na hrubování. Na základě srovnání nákladů pro obrábění jednotlivými nástroji je doporučen vhodný nástroj. V závěru jsou vypočítány časové a finanční úspory.

Annotation of thesis

PŘECECHTĚL, B. Rationalization of Winding Equipment Slide at FUQ 150 CNC. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2009, 50 p.

The study solves the problem rationalization of winding equipment slide in Vítkovice Gearworks company. The objective is to select new mill and reduce costs of rough milling. The study contains overview of cutting materials. Solution to this problem arise from antecedent solution. Two new tools with cemented carbide inserts have been tested. For both tools was recommended cutting conditions and calculation the cost of the roughing. The more economical tool is selected and time and financial savings are evaluated.

Obsah

Seznam použitého značení	9
1 Úvod do problematiky	11
2 Přehled řezných materiálů	12
2.1 Nástrojové oceli	13
2.1.1 Nástrojové uhlíkové oceli	13
2.1.2 Nástrojové legované oceli	13
2.1.3 Nástrojové rychlořezné oceli	13
2.2 Slinuté karbidy	15
2.2.1 Výroba slinutých karbidů	15
2.2.2 Klasifikace slinutých karbidů	16
2.2.3 Vlastnosti slinutých karbidů	17
2.2.4 Povlakované slinuté karbidy	18
2.3 Cermety	22
2.3.1 Výroba cermetů	22
2.3.2 Vlastnosti a použití cermetů	22
2.4 Řezná keramika	23
2.4.1 Výroba keramických výměnných břitových destiček	24
2.4.2 Rozdělení, vlastnosti a použití řezné keramiky	25
2.5 Supertvrdé řezné materiály	27
2.5.1 Diamant	27
2.5.2 Kubický nitrid boru	28
3 Současný stav řešení problému	30
3.1 Všeobecná charakteristika stroje	30
3.2 Popis polotovaru a postup výroby	32
3.3 Použitý nástroj a řezné podmínky	33
4 Experimentální testování nových nástrojů	36
4.1 Vlastnosti a chemické složení obráběného materiálu	36

4.2 Metodika zkoušení nových nástrojů.....	37
4.3 Testování nástroje CERATIZIT AHFC.100.R.08-12	38
4.3.1 Popis nástroje včetně VBD	38
4.3.2 Průběh vlastního testování nástrojů	40
4.4 Testování nástroje WALTER F4080.B32.100.Z05.04	42
4.4.1 Popis nástroje včetně VBD	42
4.4.2 Průběh vlastního testování nástrojů	43
5 Volba vhodného nástroje	45
6 Zhodnocení a závěr	48
Použitá literatura	50
Přílohy	51

Seznam použitého značení

Značení	Význam	Jednotka
CBN	kubický nitrid boru	
CVD	chemická metoda nanášení povlaku	
HFCVD	chemická metoda nanášení povlaku se žhavicím vláknem	
LICVD	laserem indukovaná chemická metoda nanášení povlaku	
LPCVD	nízkotlaká chemická metoda nanášení povlaku	
MTCVD	chemická metoda nanášení povlaku za středních teplot	
P	výkon	kW
PCVD	plazmaticky aktivovaná chemická metoda nanášení povlaku	
PKD	polykrystalický diamant	
PVD	fyzikální metoda nanášení povlaku	
SK	slinutý karbid	
VBD	vyměnitelná břitová destička	
a_e	radiální hloubka řezu	mm
a_p	axiální hloubka řezu	mm
f_{min}	posuv za minutu	mm.min ⁻¹
f_z	posuv na zub	mm
h	účinnost stroje	
h_m	střední tloušťka třísky	mm
k_c	specifická řezná síla	N.mm ⁻²
$k_{c1.1}$	specifická řezná síla při průřezu třísky 1mm	N.mm ⁻²
m_c	směrnice křivky specifické řezné síly	
n	otáčky	min ⁻¹
t_s	hlavní strojní čas	min
v_c	řezná rychlost	m.min ⁻¹

v_f	rychlost posuvu	mm.min ⁻¹
γ	úhel čela	°
ϕ_s	úhel záběru	°
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří	°

1 Úvod do problematiky

Strojírenská výroba je významnou částí světové ekonomiky. Konkurence v tomto oboru vytváří tlak na podniky, aby produkovaly výrobky s co nejnižšími cenami. Obrábění představuje jeden z řady výrobních postupů. Náklady na obrábění často tvoří podstatnou část nákladů na výrobek. Hlavním úkolem technologie obrábění je volbou optimálního typu nástroje a řezných podmínek zajistit maximální využití obráběcích strojů. Náklady na řezné nástroje tvoří asi jen cca 5 % z celkových výrobních nákladů. Přesto mají významný vliv na využití strojního času a tedy na efektivnost a produktivitu výroby.

Soudobé řezné nástroje jsou vyráběny ze širokého sortimentu materiálů od nástrojových ocelí přes slinuté karbidy, cermety, řeznou keramiku až po diamant a kubický nitrid boru. Takto široký sortiment je výsledkem dlouholetého výzkumu a vývoje v dané oblasti. Aplikační oblasti těchto materiálů jsou dány jejich fyzikálními, chemickými, teplotními a mechanickými vlastnostmi.

Cílem této bakalářské práce je volbou vhodného nástroje a řezných podmínek dosáhnout úspory strojního času a výrobních nákladů při hrubování vodících ploch na tělese vedení navíjecího zařízení na stroji FUQ 150 CNC ve firmě Vítkovice Gearworks.

2 Přehled řezných materiálů

Výkon a životnost nástroje jsou závislé na řadě faktorů, především však na vybraném nástrojovém materiálu. Na řezné materiály jsou obecně kladeny následující požadavky:

- vysoká tvrdost a pevnost v tlaku,
- vysoká houževnatost a pevnost v ohybu,
- odolnost proti otěru,
- pevnost za tepla a odolnost proti teplotním rázům,
- chemická stabilita při vysokých teplotách.

Na konkrétní obráběcí práci potom závisí, které z uvedených vlastností budou pro volbu nástrojového materiálu rozhodující. Materiály řezné části nástroje se označují velkými písmeny abecedy. Značení nástrojových materiálů podle ČSN ISO 513 je uvedeno v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Značení nástrojových materiálů [1]

Materiál		symbol
Nepovlakované slinuté karbidy s obsahem WC	Zrnitost $\geq 1 \mu\text{m}$	HW
	Zrnitost $< 1 \mu\text{m}$	HF
Nepovlakované cermety s obsahem TiC nebo TiN nebo obou		HT
Povlakované slinuté karbidy a cermety		HC
Řezná keramika	Oxidická s obsahem Al_2O_3	CA
	Směsná na bázi Al_2O_3 s neoxidickými přísadami	CM
	Neoxidická s obsahem Si_3N_4	CN
	Povlakovaná	CC
Supertvrde materiály	Polykrystalický diamant	DP
	Polykrystalický kubický nitrid boru	BN

2.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli patří mezi nejstarší používané řezné materiály. Jedná se o vysoce jakostní oceli, u nichž je požadována dostatečná čistota a co nejlepší chemická a fázová stabilita.

2.1.1 Nástrojové uhlíkové oceli

Jejich vlastnosti závisí především na obsahu uhlíku. Po tepelném zpracování dosahují tvrdost 56 až 60 HRC. Pevnost v ohybu se pohybuje v rozsahu 2 500 až 3 500 MPa. Svoje mechanické vlastnosti si zachovávají do 250 až 300 °C [2]. Pro svoji nízkou tepelnou odolnost se používají zejména pro nástroje na obrábění dřeva případně plastů a na nástroje pro ruční obrábění.

2.1.2 Nástrojové legované oceli

Nástrojové legované oceli obsahují 1,1 až 1,5 % uhlíku a také legující prvky jako je Chrom, molybden, vanad, nikl a další. Celkové množství legujících prvků bývá 3 až 5 %. Po zakalení dosahují tvrdost okolo 60 až 65 HRC. Pevnost v ohybu je 3 500 MPa. Nástroje z těchto ocelí si zachovávají řeznou schopnost do teplot 350 až 400 °C [2]. Nástrojové legované oceli lze použít pro přesné, ale méně výkonné nástroje jako jsou výstružníky a záhlubníky.

2.1.3 Nástrojové rychlořezné oceli

Od předchozích druhů nástrojových ocelí se liší vyšším obsahem legujících přísad. Základním legujícím prvkem je wolfram (6 až 18 %), který vytváří karbidy zvyšující odolnost proti opotřebení a vůči popouštění stálý martenzit. Podobně jako wolfram působí molybden (0,7 až 10 %), ale asi s dvojnásobnou intenzitou. Dalším legujícím prvkem je vanad, který vytváří nejtvrďší karbidy a zvyšuje tak odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Kobalt (5 až 12 %) zvyšuje odolnost proti opotřebení a tvrdost za tepla. Chrom (4,2 %) zlepšuje kalitelnost a prokalitelnost [3]. Obsah uhlíku bývá 0,8 až 1,4 %. Kromě chemického složení má na vlastnosti rychlořezných ocelí

velký vliv také tepelné zpracování, po kterém dosahují tvrdosti 60 až 68 HRC, pevnost v ohybu se pohybuje v rozsahu 2 700 až 4 500 MPa. Vysokou tvrdost si zachovávají až do teploty 600 °C [2]. Limitujícím faktorem při použití nástrojů z rychlořezných je řezná rychlost (obvykle 20 až 80 m.min⁻¹). Rychlořezné oceli se používají především na nástroje s přesným ostřím, jako jsou protahovací nástroje, nástroje na závity, šroubovitě vrtáky apod.

Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií

Princip výroby spočívá v rozprašování vysoce čisté taveniny inertním plynem. Vzniklý prášek je plněn do kapslí a izostaticky lisován za tepla. Následuje kování a válcování, které zajistí, že konečný produkt je bez pórů a má velmi jemnou karbidickou strukturu (velikost karbidů cca 3-5 μm). Konečné produkty mohou být ve formě drátů, tyčí, plechů nebo profilů.

Druhý způsob výroby umožňuje výrobu téměř hotových nástrojů (např. závitové čelisti, řezné destičky). Při tomto způsobu výroby se tavenina rozprašuje vodou. Poté následuje lisování prášku za studena do matric a spékání.

Tyto materiály vykazují jemnozrnnou strukturu s rovnoměrným rozložením karbidických složek, homogenní složení a rovnoměrnou velikost zrna. Oproti konvenčním rychlořezným ocelím mají zvýšenou houževnatost a trvanlivost řezné hrany. Další výhodou je zvýšená tvarová a rozměrová stálost při tepelném zpracování. Prášková metalurgie umožňuje v současnosti vyrábět slitiny s obsahem až 3,4 % uhlíku a celkovým obsahem legujících prvků až 39 % [4].

Povlakované rychlořezné oceli

Pro povlakování se používá nízkoteplotní technologie povlakování PVD, která je založena na rozprašování, nebo odpařování pevného terče, bombardování nástroje směsí atomů a iontů a kondenzaci povlaku na nástroji. Povlakování probíhá za sníženého tlaku při teplotě max. 550°C. Nejčastěji je aplikován povlak TiN, další v pořadí jsou TiAlN a TiCN. Povlaky zvyšují odolnost proti abrazivnímu i chemickému opotřebení řezné části nástroje a snižují tření mezi třískou a čelem nástroje.

2.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) jsou v současné době nejrozšířenějším materiálem pro obrábění kovů. SK jsou produktem práškové metalurgie. Mezi nejdůležitější materiály pro výrobu SK patří karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a karbid niobu (NbC). Jako pojivo se ve většině případů používá kobalt (Co).

2.2.1 Výroba slinutých karbidů

Technologie výroby slinutých karbidů má přímý vliv na jejich kvalitu a výkonnost. Podstatou výroby je lisování směsi prášků tvrdých karbidických částic s práškem pojícího kovu a následné slinování při teplotě blízké bodu tavení pojiva. Homogenní složení a tolerance obsahu jednotlivých složek musí být v procesu výroby přesně řízené a kontrolované.

Hlavní fáze výroby slinutých karbidů jsou:

- výroba prášku,
- lisování polotovarů,
- slinování,
- tvarování polotovarů,
- povlakování.

Výroba prášku

Prášek wolframu se získává z nerostných surovin (scheelit, wolframit) chemickými pochody. Nejprve je získán oxid wolframový, ze kterého se redukcí vodíkem vyrábí wolframový prášek. Karbid wolframu se pak získá smícháním wolframového prášku se sazemí a následnou karbonizací. Při tomto procesu dochází ke sloučení wolframu s uhlíkem v ochranné atmosféře za vysoké teploty (cca 1700 °C [5]). Karbidy tantalu a niobu se vyrábí podobným způsobem. Karbid titanu se nevyrábí samostatně, ale společně s karbidem wolframu. Kobaltový prášek se získává redukcí oxidu kobaltu s vodíkem. Prášek karbidu a prášek kobaltu se smísí v určitém poměru a následně se mele.

Lisování

Provádí se na lisech při použití lisovacích forem. Lisováním se získá polotovar požadovaného tvaru. Pórezita výlisku je cca 50 objemových procent [5]. Rozměry polotovarů musí zohledňovat cca 17 až 20 % smrštění při slinování.

Slinování

Probíhá ve slinovacích pecích, při teplotách 1300 až 1700 °C [2]. Proces slinování vyžaduje především dodržení přesné teploty, doby průběhu, odpovídající atmosféry pracovního prostředí. Při slinování dochází k uzavření pórů a zrnka prášku se spojí. Po skončení procesu slinování je výrobek zhutněn, vykazuje požadovanou mikrostrukturu a má očekávané mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti.

Konečná úprava vyměnitelných destiček

Břítové destičky se mohou v případě potřeby upravovat broušením, lapováním a leštěním. Povlakování břítových destiček bude popsáno v kapitole 2.2.4.

2.2.2 Klasifikace slinutých karbidů

Současné nepovlakované slinuté karbidy jsou podle ČSN ISO 513 označovány symboly HW a HF. Povlakované SK jsou označovány symbolem HC (viz tab. 2.1). Podle velikosti zrna se SK rozdělují na hrubé (velikost zrna okolo 7,8 μm), střední (průměrná velikost zrna 2,8 μm) a jemnozrnné (velikost zrna okolo 1,5 μm a méně). Jemnozrnné slinuté karbidy se zrnitostí pod 1 μm se rozdělují na jemné, ultrajemné a někdy na superjemné se zrnitostí pod 0,4 μm (tzv. nanokrystalický slinutý karbid) [2]. Podle použití jsou SK rozděleny do následujících šesti slupin [1]:

K – označuje se červenou barvou. Je určena pro materiály, které vytváří krátkou, drobivou třísku, zejména pro šedé litiny a nekovové materiály. Řezné síly jsou obvykle relativně nízké a převládá abrazivní a adhezní opotřebení. Jedinou tvrdou strukturní složku této skupiny tvoří karbid wolframu.

P – označuje se modrou barvou. Je určena k obrábění kovových železných materiálů tvořících dlouhou třísku (uhlíkové oceli, slitinové oceli, feritické a martenzitické korozivzdorné oceli). V procesu řezání vznikají obvykle vysoké řezné síly a opotřebení na čele (výmol). Tato skupina materiálů obsahuje kromě WC velké množství TiC a TaC, které zvyšují odolnost proti vymílání na čele nástroje. TiC zaručuje vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot a má vyšší tvrdost než WC.

M – označuje se žlutou barvou. Tato skupina je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Řezné síly dosahují středních až vysokých hodnot, dochází k vydrolování ostří.

N – je označována zelenou barvou. Tato skupina je vhodná pro obrábění neželezných slitin na bázi hliníku, hořčíku, mědi, pro obrábění plastů, kompozitů, dřeva.

S – označuje se hnědou barvou. Pro obrábění slitin titanu a žárovečných slitin na bázi niklu, kobaltu nebo železa.

H – je označována tmavošedou barvou. Tato skupina je určena pro obrábění zušlechťených ocelí (s pevností nad 1500 MPa), kalených ocelí (HRC 48 až 60) [6] a obrábění tvrzených litin.

2.2.3 Vlastnosti slinutých karbidů

Slinuté karbidy jsou vícefázové materiály tvořené karbidovými částicemi v kovové vazbě. Rozměry konvenčních karbidových částic se pohybují v rozmezí 0,8 až 10 μm [2]. Objem pojiva se pohybuje v rozmezí 5 až 30%. Vlastnosti SK závisí na chemickém složení, zrnitosti materiálu, druhu a množství pojiva, množství a velikosti strukturních vad, kvalitě vstupních surovin.

Důležitou vlastností SK je, že si zachovávají tvrdost (87 až 92 HRA) a odolnost proti opotřebení i při vysokých teplotách (800 až 1200°C) [2]. Nositelem

tvrdosti za tepla jsou karbidové složky (WC, TiC, TaC, NbC). Jednotlivé složky ovlivňují výsledné vlastnosti SK následovně:

- WC – zajišťuje odolnost proti abrazivnímu opotřebení řezného klínu.
- TiC – zvyšuje odolnost proti vymílání čelní plochy, snižuje odolnost proti otěru, snižuje houževnatost a pevnost v ohybu.
- Ta(Nb)C – ve spojení s WC zvyšuje odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách, ale méně jako TiC. Zvyšuje houževnatost, mechanickou pevnost řezného klínu a odolnost proti tepelným rázům.

Nositelem houževnatosti a pevnosti v ohybu je kobaltové pojivo. Obsah kobaltu ovlivňuje prakticky všechny fyzikální i mechanické vlastnosti slinutých karbidů, bez ohledu na jejich typ [1], pokud obsah kobaltu roste pak:

- klesá hustota, tvrdost, relativní odolnost proti abrazi, modul pružnosti v tahu a ve smyku, klesá tepelná vodivost.
- roste pevnost v ohybu, pevnost v tahu, vrubová houževnatost, mírně roste únavová pevnost.

Nejvyšší hodnoty tvrdosti a pevnosti v tlaku vykazují slinuté karbidy s nízkým obsahem kobaltu. Pro libovolné složení materiálu platí, že tvrdost je tím vyšší, čím menší je velikost zrna tvrdých částic. Kromě vyšší tvrdosti mají jemnozrnné SK i vyšší pevnost v ohybu.

2.2.4 Povlakované slinuté karbidy

V dnešní době se téměř všechny druhy slinutých karbidů opatřují povlakem. Moderní druhy povlakovaných slinutých karbidů získaly od doby zavedení prvních povlakovaných řezných materiálů značně na spolehlivosti. Nejdůležitější materiály pro povlakování jsou: karbid titanu (TiC), nitrid titanu (TiN), oxid hlinitý (Al_2O_3) a karbonitrid titanu (TiCN) [5]. TiC je nejtvrdší a má nejvyšší odolnost proti abrazivnímu opotřebení. TiN není tak tvrdý, ale má menší součinitel tření na čele destičky a je odolnější proti oxidaci a difuzi a zajišťuje tedy odolnost proti tvorbě výmolu na čele destičky. Al_2O_3 vykazuje největší otěruvzdornost při vysokých teplotách, tedy při

vysokých řezných rychlostech. TiCN má vynikající přilnavost i dobrou odolnost proti opotřebení, proto se s výhodou používá pro spodní vrstvu povlaku nanesenou na substrát slinutého karbidu.

Povlakované slinuté karbidy jsou vyráběny tak, že se na podklad z běžného SK (v současné době jsou povlaky většinou nanášeny na podkladové SK, vyrobené speciálně k tomuto účelu) nanáší tenká vrstva povlakového materiálu. Povlak ve formě tenké vrstvy má vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Výhodné vlastnosti povlaku vyplývají zejména z toho, že na rozdíl od substrátu neobsahuje žádná pojiva, má o jeden i více řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů. Povlakové vrstvy díky nízké tepelné vodivosti vytváří tepelnou bariéru a chrání základní SK proti difuznímu a mechanickému opotřebení.

Tab. 2.2 Vybrané vlastnosti tenkých otěruvzdorných vrstev [2]

Druh vrstvy	Diamant	Al ₂ O ₃	TiN	TiC
Tvrdost HV	> 8 000	1 800 až 2 300	2 000 až 2 300	3 000 až 3 500
Modul pružnosti v tlaku [GPa]	> 9 000	400 až 500	200 až 300	300 až 400
Měrná tepelná vodivost [W.m ⁻¹ .K ⁻¹]	100 až 2 000	10 až 25	30 až 40	25 až 35
Koeficient tepelné roztažnosti [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]	1 až 15	7,8 až 8,5	9,2 až 9,5	7,4 až 8,2
Odolnost proti oxidaci [°C]	< 600	–	1 100 až 1 400	1 100 až 1 200
Reaktivita na železo	velmi vysoká	velmi nízká	nízká	střední

Vývojové stupně povlakovaných SK [1]

1. generace: Jedonvrstvé povlaky (téměř výhradně TiC) s tloušťkou asi $6\mu\text{m}$ se špatnou soudržností podkladu a povlaku (tato nepříznivá vlastnost byla způsobena nedokonalou technologií výroby, kdy docházelo k tvorbě křehkého eta-karbidu mezi podkladem a povlakem).

2. generace: Jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN) bez eta-karbidu na přechodu podklad – povlak. Zdokonalená technologie výroby umožnila vytvořit vrstvy povlaků o tloušťce 7 až $10\mu\text{m}$.

3. generace: Vícevrstvé povlaky (dvě až tři vrstvy, případně i více). Jako první jsou na podklad obvykle nanášeny vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu. Jako poslední jsou nanášeny vrstvy s vysokou tvrdostí, odolností proti opotřebení a oxidaci za zvýšených teplot.

4. generace: Vícevrstvé povlaky velmi často složené z více než deseti vrstev a mezivrstev. Za povlaky 4. generace jsou také považovány také diamantové povlaky, nanokompozitní povlaky (povlak tvořený dvěma, nebo více složkami, které jsou vzájemně nerozpustné, přitom alespoň 1 složka musí být krystalická), gradientní povlaky (složení vrstvy se plynule mění od substrátu k povrchu).

Metody povlakování

Metody povlakování lze rozdělit do dvou základních skupin:

- PVD (metoda fyzikálního napařování),
- CVD (metoda chemického nanášení povlaků).

Metoda PVD je charakteristická nízkými pracovními teplotami (pod $500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Povlaky jsou vytvářeny za sníženého tlaku ($0,1$ až $1,0\text{ Pa}$) kondenzací částic, které jsou uvolňovány ze zdroje částic (terčů) rozprašováním, nebo odpařováním. Technologie PVD se dobře osvědčila pro nanášení povlaků na složité profily a velmi ostré nástroje. Tloušťka vrstvy nanesené touto technologií činí 3 až $5\mu\text{m}$ [5]. U jednovrstvých povlaků nanášených touto metodou převládá TiN, ale lze vytvořit i vícevrstvé povlaky typu TiN - Ti(C,N), TiN - (Ti,Al)N, TiC - Ti(C,N) - TiN [3]

Pro povlakování SK je používanější metoda CVD. Tato metoda je založena na reakci plyných chemických sloučenin v plazmě, která se tvoří v bezprostřední blízkosti podkladového SK a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu. Základním předpokladem přitom je, aby výchozí plyny obsahovaly stabilní, ale dostatečně prchlavou sloučeninu, která se v důsledku přivedené energie (ohřevem, plazmovým obloukem, laserem) chemicky rozkládá a produkty jejího rozkladu jsou pak ukládány na ohřátý povrch a zde působí jako katalyzátor. Aby došlo k vytvoření povlaku, musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např. N_2 , NH_4 , CH_4). Povlakování probíhá za teplot 1 000 až 1 200 °C [1]. Tloušťka povlaku se pohybuje od 2 do 15 μm . Metoda CVD je zvláště vhodná pro výrobu vícevrstevných povlaků, protože v průběhu je možné relativně jednoduše regulovat množství různých přiváděných plynů.

Přednosti obou technologií spojuje metoda PCVD (plazmaticky aktivovaná CVD metoda). Podobně jako u klasické CVD metody zde dochází k vylučování povlaků z plynné fáze, ale liší se nízkými pracovními teplotami (400 až 600 °C). Molekuly reaktivního plynu jsou v tomto případě ionizovány plazmovým výbojem při tlaku 100 až 300 MPa. Další metodou je metoda MTCVD (CVD za střených teplot), která umožňuje nanášet povlaky z plynné fáze za teploty 700 až 850 °C [1].

V poslední době se stále častěji používají různě modifikované CVD metody jako např. LPCVD (nízkotlaká CVD metoda), HFCVD (metoda CVD se žhavicím vláknem) a LICVD (laserem indukovaná CVD metoda).

2.3 Cermety

Cermety jsou podobně jako slinuté karbidy produktem práškové metalurgie. Tvrdá fáze cermetů je tvořena zejména TiC, TiCN, Mo₂C. Jako pojivo se používá Ni, Co a Mo. Podle ČSN ISO 513 jsou cermety označovány symbolem HT.

2.3.1 Výroba cermetů

Technologie výroby cermetů je velmi podobná technologii výroby slinutých karbidů. Výchozími materiály jsou prášky TiC, TiN, Ti(CN), Mo₂C, (Ta,Nb)C, VC, WC, NbC, TaC, ZrC a další. Prášky se mísí s prášky kovového pojiva (Ni, Mo, Co) a melou. Poměr jednotlivých složek ve směsi musí být přesně dodržen. Cílem je vytvoření jemnozrnné, homogenní, práškové směsi karbidů a nitridů s pojícím kovem. Tato směs prášků se lisuje ve formovacích lisech hydrostatickým lisováním. Vylisované polotovary se slinují. Teplota slinování cermetů na bázi karbonitridu titanu se musí pohybovat v rozmezí 1 400 až 1 600 °C [2]. Doba slinování je krátká, aby se zabránilo zhrubnutí zrna tvrdé fáze, které by vedlo ke zhoršení mechanických vlastností.

Povlakování cermetů

Cermety se povlakuji kvůli prodloužení trvanlivosti břitu, nebo zvýšení řezné rychlosti. Pro cermety jsou nejvhodnější povlaky nanášené metodou PVD. Povlaky nanášené metodou CVD způsobují často v cermetovém substrátu vznik vlasových trhlinek, a proto jsou pro povlakování cermetů nevhodné [2].

2.3.2 Vlastnosti a použití cermetů

Mezi pozitivní vlastnosti patří zejména vysoká odolnost proti opotřebení hřbetu a opotřebení ve tvaru žlábků na čele, vysoká chemická stabilita a tvrdost za tepla, malý sklon k vytváření nárůstku a oxidačnímu opotřebení [5]. Díky svému pomalému opotřebení dosahují dlouhé životnosti. Oproti slinutým karbidům mají cermety nižší houževnatost a odolnost proti nárazovým zatížením a tepelným rázům.

Charakteristickou vlastností cermetů je jejich nízká hustota, která se pohybuje v rozmezí 5,6 až 7,4 g.cm⁻³.

Cermety jsou vhodné hlavně na dokončovací operace, případně na operace středního obrábění. S výhodou se používají při vysokých řezných rychlostech, nízkých posuvech a rovnoměrných hloubkách řezu. Ideálními podmínkami pro obrábění by měla být stabilita procesu a obrábění bez přerušovaných řezů. Houževnatější druhy cermetů umožňují obrábění korozivzdorných ocelí včetně austenitických.

2.4 Řezná keramika

Keramika je obecně charakterizována jako převážně krystalický materiál, jehož hlavní složkou jsou anorganické materiály nekovového charakteru. První keramické řezné materiály (zhruba do 50. let dvacátého století) měly vzhledem k vysoké křehkosti jen omezené aplikační oblasti. Používaly se většinou pouze pro nepřerušované řezání. Teprve intenzivním výzkum směřující k získání jemnozrnné struktury, zvýšení ohybové pevnosti a zvýšení odolnosti proti tepelným šokům vedl k výraznějšímu prosazení řezné keramiky na začátku 60. let. Dnešní řezná keramika patří mezi vysoce výkonné nástrojové materiály, její použití však vyžaduje (samozřejmě kromě správně zvolených řezných podmínek) dodržení určitých zásad. K hlavním podmínkám optimálního využití patří zejména [3]:

- vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek (kmitání jakéhokoli druhu výrazně zvyšuje intenzitu opotřebení),
- použití výkonných obráběcích stojů s širokým rozsahem posuvů a otáček,
- zabezpečení spolehlivého upnutí obrobků,
- odstranění kůry obráběných polotovarů (zejména odlitků a výkovků, ale i válcovaného materiálu) jiným druhem nástrojového materiálu,
- najíždění a vyjíždění z řezu při snížených hodnotách posuvu (platí zejména pro posuvy $f > 0,3$ mm).

Keramické výměnné břitové destičky se používají zejména pro obrábění šedé litiny, žáruvzdorných a žárupevných slitin, kalených ocelí, tvárné a temperované litiny. V některých případech se řezná keramika používá také k obrábění ocelí.

2.4.1 Výroba keramických výměnných břitových destiček

Proces výroby je obdobný jako proces výroby břitových destiček ze slinutého karbidu nebo cermetu s tím rozdílem, že keramické materiály neobsahují žádný materiál, který by plnil funkci pojiva. Hlavními materiály pro výrobu řezných keramik jsou především oxidy (Al_2O_3 , ZrO_2), karbidy (TiC , SiC) a nitridy (Si_3N_4 , TiN). Jedná se o chemicky stabilní látky s vysokou tvrdostí, tlakovou pevností a odolností proti vysokým teplotám.

Tab. 2.3 Srovnání teploty tavení a tvrdosti vybraných keramických materiálů [2]

Materiál	Teplota tavení [°C]	Tvrdost [HV]
Al_2O_3	2 050	2 000
ZrO_2	2 700	
Si_3N_4	1 900	1 000
SiC	2 200	2 500

Obecný postup výroby keramických materiálů:

- příprava práškové směsi, mletí a míchání,
- tvarování a sušení,
- předslinování, slinování (teplota slinování keramiky na bázi Al_2O_3 je kolem 1 550 °C, doba slinování je 10 h),
- úprava povrchu (broušení za použití diamantového brusiva).

Při výrobě řezné keramiky jsou kladeny velmi vysoké nároky na výrobní zařízení a zejména na dodržení předepsaných parametrů technologického postupu.

Vývoj mikrostruktury a slinovatelnost keramických materiálů je možno ovlivňovat přidáním přísad, které v průběhu slinování vytváří kapalnou fázi (např. MgAl_2O_4 , MgO , TiH_2 , TiO_2 , Ni , Mo – podle typu řezné keramiky). Tímto způsobem se dosáhne hustějšího uspořádání částic při slinování a rychlejšího a lepšího zhuštění výrobku [1].

Povlakování řezné keramiky není tak obvyklé, jako u slinutých karbidů. Nanáší se jedna vrstva karbidů nebo nitridů kovu (např. TiC , TiCN apod.), případně povlak Al_2O_3 na základní materiál Si_3N_4 . Povlakování se provádí téměř výhradně metodou CVD [2].

2.4.2 Rozdělení, vlastnosti a použití řezné keramiky

Existují dva základní typy řezné keramiky a to oxidová keramika na bázi Al_2O_3 a nitridová keramika na bázi Si_3N_4 . Oxidovou keramiku lze dále rozdělit na čistou, směsnou, a vyztuženou. Podle ČSN ISO 513 se čistá oxidová keramika označuje písmeny CA, směsná a vyztužená keramika se označuje CM, nitridová CN a povlakovaná řezná keramika se označuje CC.

Čistá oxidová keramika

Je tvořena téměř čistým Al_2O_3 (95,5%) s přidavkem látek usnadňujících slinování. Oxidová keramika má relativně nízkou houževnatost a odolnost proti teplotnímu rázu. Naproti tomu má vysokou odolnost proti opotřebení a je chemicky stálá. Dobré výsledky vykazuje při hrubování i dokončování šedé litiny.

Směsná oxidová keramika

Je tvořena směsí Al_2O_3 a neoxidických materiálů (TiC , TiN a dalších v objemu asi 20 až 40%). Směsná keramika má proti čisté keramice lepší tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu. Oblast použití zahrnuje všechny materiály, které lze obrábět keramikou [5].

Vyztužená oxidová keramika

Jde o čistou keramiku, která je vyztužena whiskery. Podíl whiskerů je asi 25 až 45 % [3]. Tyto whiskery mají průměr cca $1\mu\text{m}$ a délku více než $20\mu\text{m}$ [5], sestávají se z karbidu křemíku a mají vysokou pevnost. Přidáním whiskerů je dosaženo zvýšení houževnatosti (až 60% oproti směsné keramice), pevnosti v tahu, odolnosti proti opotřebení, odolnosti vůči šíření trhlin a odolnosti proti vylamování břitů. Nevýhodou je afinita SiC na železo při vysokých pracovních teplotách.

Nitridová keramika

Jde o materiál na bázi Si_3N_4 . Z hlediska obrábění má vyšší lomovou houževnatost než směsná keramika, výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost na tepelné rázy. Výborně se osvědčuje při obrábění přerušovaným řezem a při měnících se hloubkách řezu. Nitridová keramika je vhodná pro obrábění šedé litiny (řezné rychlosti až přes $400\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$) [5]. Nevýhodou tohoto materiálu je nižší chemická stabilita, proto se nepoužívá k obrábění ocelí.

Tab. 2.4 Střední hodnoty mechanických a fyzikálních vlastností řezné keramiky [2]

	Čistá oxidová keramika	Směsná oxidová keramika	Nitridová keramika
Hustota [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]	4,12	4,30	3,30
Tvrdost [HV]	200	2 250	1 700
Lomová houževnatost [$\text{MPa}\cdot\text{m}^{-2}$]	5,8	5,2	7,0
Pevnost v ohybu [MPa]	600	600	800
Tepelná vodivost [$\text{W}\cdot\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$]	28	35	45
Koef. tepelné roztažnosti [10^{-6}K^{-1}]	7,0	7,4	2,3

2.5 Supertvrdé řezné materiály

Do této skupiny řezných materiálů lze zahrnout dva řezné materiály, a to diamant a kubický nitrid boru.

2.5.1 Diamant

Diamant je nejtvrdší známý materiál, je jednou ze dvou hlavních krystalických modifikací uhlíku. Diamanty dělíme na dvě základní skupiny – přírodní a syntetické. Oba uvedené druhy se vyskytují ve stavu monokrystalickém a polykrystalickém. Nevýhodou diamantu je jeho vysoká křehkost a afinita k železu a nízká teplotní stálost (při dosažení teplot nad 650 °C se mění na grafit [1]).

Přírodní diamanty mají pro obrábění podřadný význam, neboť jsou nejen drahé, ale i technologicky méně výhodné než diamanty vyráběné synteticky. Vzhledem ke svému malému výskytu a vysoké ceně se uplatňují převážně při velmi přesném obrábění s vysokými požadavky na jakost povrchu. Umožňují přípravu poloměru ostří do velikosti 10nm [3].

Syntetické monokrystaly obsahují vyšší obsah nečistot dusíku než přírodní diamanty, ale přesto mají podobné vlastnosti. Řezné nástroje osazené monokrystalem jsou vhodné pro přesné obrábění. Nevýhodou monokrystalů je existence štěpných rovin.

Polykrystalické diamanty (PKD) sice nedosahují tvrdosti monokrystalů, ale vykazují lepší technologické vlastnosti tím, že mají ve všech osách stejnou pevnost. Vyměnitelné břitové destičky z PKD bývají vyrobeny připájením, nebo nanesením vrstvy PKD na podložku ze slinutého karbidu. Většina současných břitových destiček z PKD je vytvořena tak, že do vybraní vytvořeném na špičce břitové destičky je připájen roubík malé tloušťky. Polykrystalický diamant je vynikajícím řezným materiálem především pro obrábění abrazivních neželezných a nekovových materiálů. Používá se zejména v těch případech, kdy se u obrobku vyžaduje vysoká přesnost rozměrů a jakost obrobené plochy. Preferovanými oblastmi použití jsou v současné době soustružení a frézování abrazivních slitin hliníku a křemíku. Dále se

PKD používá pro obrábění materiálů jako je měď, kluzné ložiskové materiály, bronzy, mosazi, slitiny magnesia, slitiny zinku a olovo [5]. Další oblast použití PKD je pro obrábění materiálů jako jsou například kompozity, umělé pryskyřice, pryž, plasty a uhlík.

2.5.2 Kubický nitrid boru

Jedná se o synteticky vyrobený materiál. Používá se ve třech různých formách provedení [7]:

- jako masivní vyměnitelná břitová destička,
- jako povlak, napečený na podklad z tvrdokovu,
- jako řezné těleso, naletované na podkladu z tvrdokovu.

Mezi vlastnosti kubického nitridu boru (CBN) patří vysoká tvrdost za tepla, vysoká odolnost proti brusnému opotřebení, dobrá chemická stabilita. Vlastnosti CBN závisí na velikosti krystalů a také na obsahu a druhu pojiva. Nevýhoda CBN je jeho relativní křehkost. Oblast použití CBN zahrnuje ocelové výkovky, kalené oceli a litinové materiály, tepelně odolné slitiny a práškové kovy na bázi kobaltu a železa. Doporučuje se používat CBN k obrábění tvrdých materiálů 45 až 65 HRC. Je-li obráběný materiál příliš měkký, je třeba počítat s nadměrným opotřebením nástroje [2].

Tab. 2.5 Oblasti použití různých řezných materiálů CBN [7]

	Nízký obsah CBN	Vysoký obsah CBN
Charakteristiky Vlastnosti	Obsah CBN < 60% Nízká pevnost v tlaku Nízká tepelná vodivost	Obsah CBN 80 až 95% Vysoká lomová houževnatost Vysoká tepelná vodivost
Preferované použití	Obrábění načisto: <ul style="list-style-type: none"> • kalená ocel • litiny • tvrdé povlaky (na bázi Co, Ni a Fe) 	Obrábění nahrubo: <ul style="list-style-type: none"> • kalená ocel • tvrzená litina • tvrdé povlaky • (na bázi Co, Ni a Fe) Obrábění načisto: <ul style="list-style-type: none"> • tvrzená litina • perlitická šedá litina

3 Současný stav řešení problému

Obrábění vedení navíjecích zařízení probíhá na frézce FUQ 150 CNC se stojanem posuvným po samostatném loži. Hrubování i dokončování rovinných ploch navíjecího zařízení se provádí rovinou frézou osazenou výměnnými břitovými destičkami z povlakovaného slinutého karbidu.

3.1 Všeobecná charakteristika stroje

Stroj je určen k třískovému obrábění materiálů se širokou možností technologického využití v operacích frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování a závitování. Při optimálním využití parametrů stroje, v kombinaci s výměnnými vřetenovými hlavami, lze provádět jak hrubovací tak dokončovací operace. Stroj se sestává z pevného lože, na němž se v podélném směru přesouvají podélné saně se stojanem. Po svislém vedení stojanu se přestavuje konzola. V příčném vedení konzoly se posouvá horizontální vřeteník. Stroj je vybaven výměnnou vřetenovou hlavou VO s automaticky přestavitelným vřetenem do svislé nebo vodorovné polohy. Výměnu nástrojů obstarává výměník s dvouramennou rukou. Řetězový zásobník nástrojů je umístěný na levé straně stojanu.

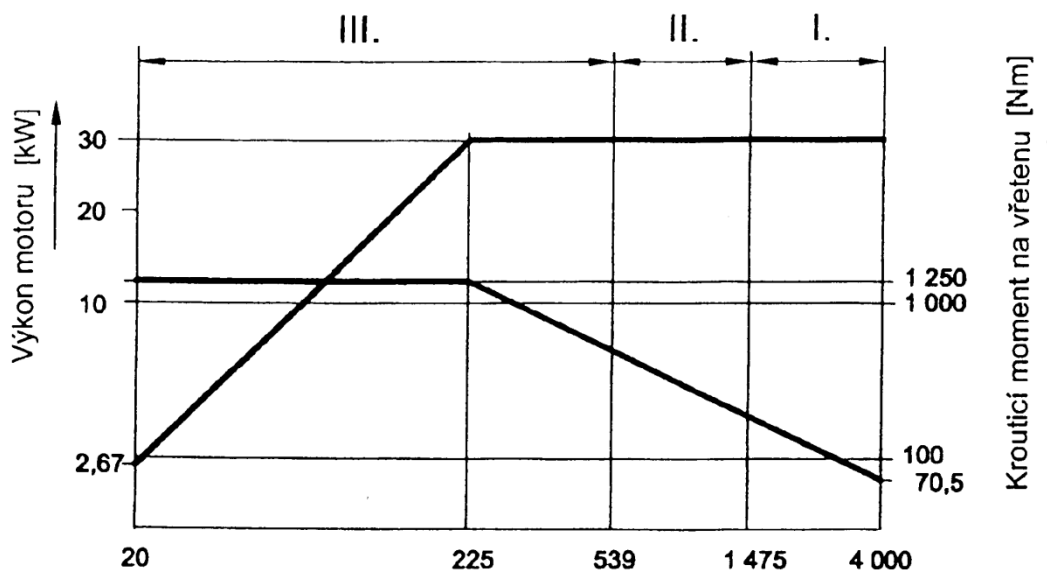
Technické parametry stroje [8]

Pracovní zdvih v podélném směru X [mm]	12 800
Pracovní zdvih v příčném směru Y [mm]	1 500
Pracovní zdvih ve svislém směru Z [mm]	2 200
Rozsah posuvů [mm.min ⁻¹]	1 až 20 000
Maximální posuvová síla v lineárních osách [N]	20 000
Zrychlení v osách X, Y, Z [m.s ⁻¹]	1,8
Celkový příkon stroje [kVA]	50
Rozsah otáček vřetená [min ⁻¹]	20 až 4 000
Maximální krouticí moment vřetená [Nm]	1 250
Využitelný výkon hlavního pohonu [kW]	30

Upínací kužel	ISO 50
Chlazení nástrojů	vnější nízkotlaké
Řídicí systém	HEIDENHAIN iTNC 530



Obr. 3.1 Frézka FUQ [8]

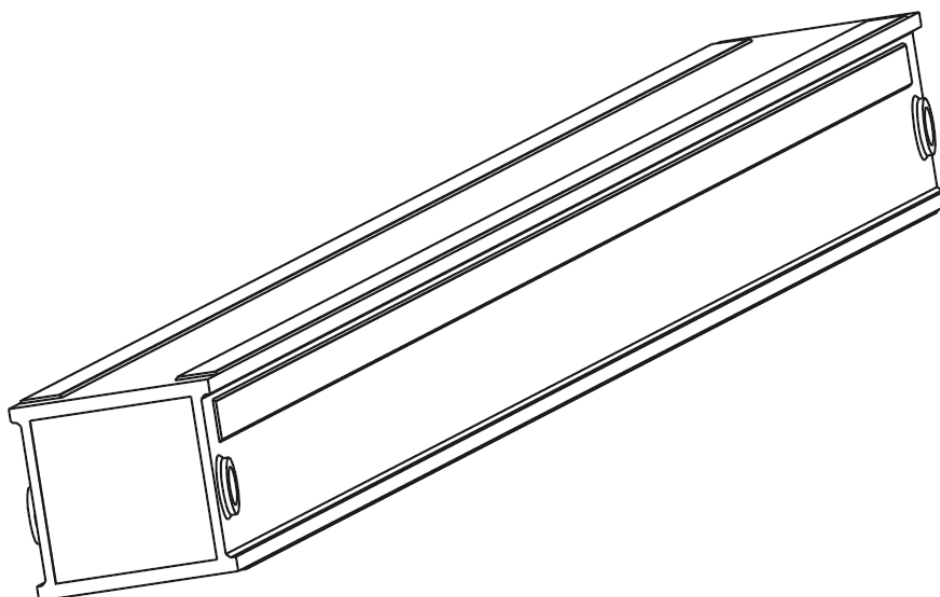


Obr. 3.2 Zatěžovací diagram vřetena [8]

3.2 Popis polotovaru a postup výroby

Polotovarem pro obrábění je svařenec. Tělo svařence má tvar tenkostěnného kvádru a je tvořeno ocelovými plechy o tloušťce 20 mm a 30 mm. Podél podélných hran polotovaru je navařeno celkem 6 plochých tyčí tloušťky 10 mm. Tyto ploché tyče se frézují na celkovou výšku a šířku součásti podle výkresu, který je uveden v příloze bakalářské práce (výkres je upraven pro potřeby bakalářské práce). Během svařování a žíhání dochází k mírnému pokroucení polotovaru, které má za následek nerovnoměrný přídavek pro obrábění. Tloušťka přídavku se u většiny polotovarů pohybuje v rozsahu 4 mm až 6,5 mm. Materiálem těchto plochých tyčí je austenitická nerezavějící ocel X2CrNiMo 18-14-3. Vlastnosti a chemické složení tohoto materiálu jsou uvedeny v kapitole 4.1. Kromě těchto plochých tyčí se obrábí ještě vnitřní průměry a čela dvou trubek, které jsou navařeny v dírách skrz dvě protější stěny polotovaru.

Polotovar je obráběn na 3 upnutí. Způsob upnutí je upínkami k úhelným kostkám. Při prvním upnutí jsou na dva úběry ohrubovány tři podélné lišty s přídávkem 0,5 mm na dokončování. Při druhém upnutí jsou ohrubovány a obrobeny na čisto zbývající tři lišty. Při třetím upnutí jsou obrobeny na čisto první tři lišty. Při druhém upnutí jsou navíc obrobeny vnitřní průměry a čela trubek, protěžší čela trubek jsou obrobeny při třetím upnutí.



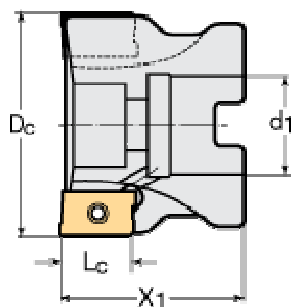
Obr. 3.3 Model obrobku

3.3 Použitý nástroj a řezné podmínky

Současně je pro obrábění používána fréza WALTER F4042.B.100.Z08.15 s výměnnými břitovými destičkami ADMT160602R-F56 WSM35. Přídavek na obrábění je odebírán dvěma hrubovacími a jedním dokončovacím úběrem.

Tab. 3.1 Rozměry nástroje WALTER F4042.B.100.Z08.15 [9]

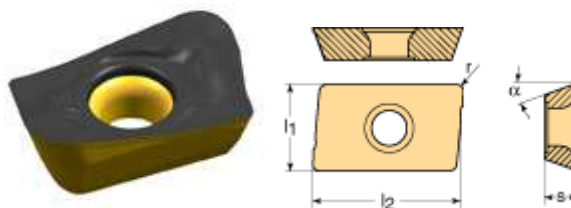
D_c [mm]	x_1 [mm]	L_c [mm]	d_1 [mm]	K_r [°]	a_{pmax} [mm]	počet zubů
100	50	16,7	32	90	15,1	8



Obr. 3.4 Fréza WALTER F4042.B.100.Z08.15 [9]

Tab. 3.2 Rozměry břitové destičky ADMT160602R-F56 WSM35 [9]

l_2 [mm]	l_1 [mm]	s [mm]	r [mm]	α [°]	Počet řez. hran
17,5	10,8	6,15	2	15	2



Obr. 3.5 Tvar břitové destičky ADMT160602R-F56 WSM35 [9]

Řezné podmínky použité pro hrubování

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	125
Otáčky n [min ⁻¹]	398
Hloubka řezu a_p [mm]	3
Posuv na zub f_z [mm]	0,126

Řezné podmínky použité pro obrábění na čisto

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	145
Otáčky n [min ⁻¹]	462
Hloubka řezu a_p [mm]	0,5
Posuv na zub f_z [mm]	0,09

4 Experimentální testování nových nástrojů

Experimentálně byly testovány dva nástroje CERATIZIT AHFC.100.R.08-12 a WALTER F4080.B32.100.Z05.04. Aby nedocházelo ke zdržení výroby, byly nástroje odzkoušeny přímo při obrábění vedení. Při zkoušení bylo použito vnější nízkotlaké chlazení nástrojů.

4.1 Vlastnosti a chemické složení obráběného materiálu

Ocel X2CrNiMo 18 14 3 patří mezi austenitické korozivzdorné oceli. Oceli této skupiny mají vysokou korozní odolnost a jsou značně houževnaté i při nízkých teplotách. Obrobitelnost těchto ocelí je nepříznivě ovlivněna velkým sklonem ke zpevňování za studena, nízkou tepelnou vodivostí a vysokou houževnatostí. Problémy při obrábění přináší především špatné lámání a odchod třísek, rychlé opotřebení nástroje a tendence ke tvorbě nárůstku. Nízká tepelná vodivost způsobuje plastické deformace řezné hrany. Pro obrábění nerezavějících ocelí se doporučuje používat nástroje s ostrou řeznou hranou a pozitivní geometrií. Vyšší hodnoty posuvu zajišťují lepší odvod tepla z místa řezu. Je třeba se vyvarovat obrábění tupými a opotřeбенými nástroji.

Mechanické vlastnosti [7]:

Pevnost v tahu [MPa]	550 až 700
Hodnota specifické řezné síly při průřezu třísky 1 mm ² ($k_{c1.1}$) [N.mm ⁻²]	2 600
Směrnice křivky specifické řezné síly (m_c)	0,19

Tab. 4.1 Chemické složení oceli X2CrNiMo 18 14 3 [4]

Prvek	C	Si max.	Mn max.	P max.	S	N	Cr	Mo	Ni
Hmotnostní podíl [%]	≤0,03 0	1,00	2,00	0,045	≤0,030	≤0,11	17,00- 19,00	2,50- 3,00	12,50- 15,00

4.2 Metodika zkoušení nových nástrojů

Při volbě startovních řezných podmínek se vycházelo z doporučení výrobců s ohledem na druh obráběného materiálu. Při volbě posuvu se vycházelo od nižších hodnot a při bezproblémovém záběru nástroje byl posuv postupně zvyšován. Řezná rychlost byla pro každý nástroj zvolena konstantní pro všechny zkoušky. Hloubka řezu byla opět zvolena pro každý nástroj konstantní, ale z důvodu pokroucení obráběných součástí po svařování docházelo při úběru prvních třísek ke změnám hloubky řezu. Pro zvolené řezné podmínky bylo třeba provést kontrolní výpočet, zda není překročen maximální využitelný výkon stroje. Vztahy použité pro výpočet potřebného výkonu stroje jsou uvedeny níže.

Výpočet potřebného výkonu pohonu stroje [10]

Potřebný výkon hnacího motoru se vypočte podle vztahu

$$P = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f \cdot k_c}{60\,000\,000 \cdot \eta} \quad [kW] \quad (4.1)$$

kde k_c [$N \cdot mm^{-2}$] je specifická řezná síla

$$k_c = \frac{1-0,01 \cdot \gamma_o}{h_m^{m_c}} \cdot k_{c1.1} \quad (4.2)$$

h_m [mm] střední tloušťka třísky

$$h_m = \frac{114,7 \cdot f_z \cdot \sin \kappa_r}{\phi_s} \cdot \frac{a_e}{D} \quad (4.3)$$

ϕ_s [°] úhel záběru

$$\phi_s = 2 \cdot \arcsin \frac{a_e}{D} \quad (4.4)$$

v_f [$mm \cdot min^{-1}$] rychlost posuvu

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (4.5)$$

a_p [mm] axiální hloubka řezu

a_e [mm] radiální hloubka řezu

D [mm] průměr nástroje

f_z [mm] posuv na zub

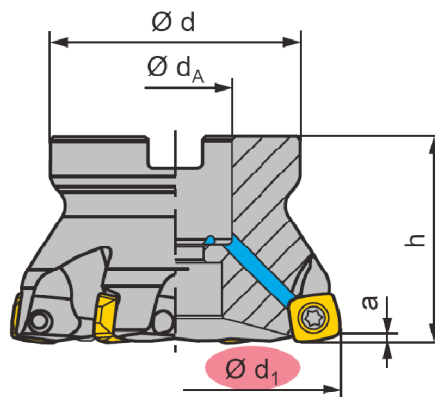
$z [-]$	počet zubů
$n [\text{min}^{-1}]$	otáčky vřetena
$h [-]$	účinnost stroje (zvolená účinnost stroje $h = 0,8$)
$\gamma_o [^\circ]$	úhel čela v ortogonální rovině
$\kappa_r [^\circ]$	úhel nastavení hlavního ostří

4.3 Testování nástroje CERATIZIT AHFC.100.R.08-12

4.3.1 Popis nástroje včetně VBD

Tab. 4.2 Rozměry nástroje CERATIZIT AHFC.100.R.08-12 [11]

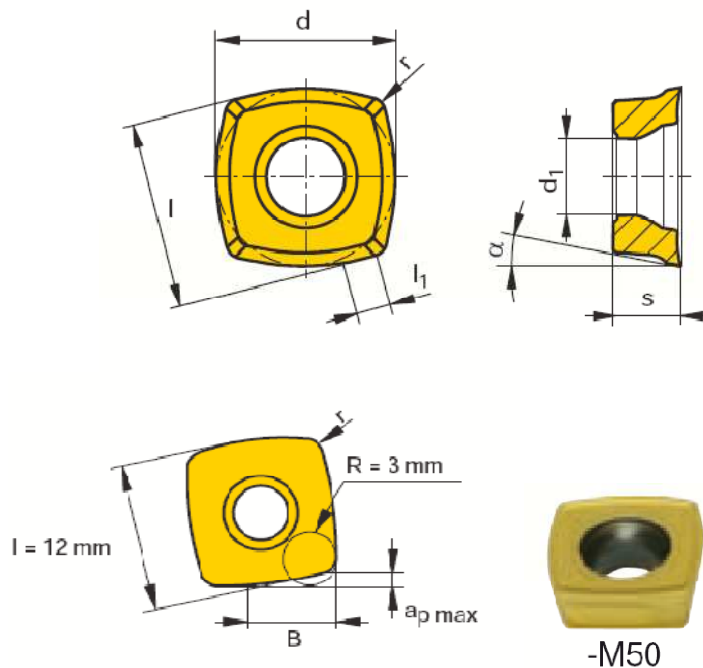
d_1 [mm]	d_A [mm]	a [mm]	d [mm]	h [mm]	Počet zubů
100	32	2	78	50	8



Obr. 4.1 Fréza CETARIZIT AHF [11]

Tab. 4.3 Rozměry destičky CERATIZIT XOLT120410 SR-M50 CPT2235 [11]

d [mm]	l [mm]	s [mm]	l ₁ [mm]	r [mm]	d ₁ [mm]	α [°]	B [mm]	a _{p max} [mm]	Počet řez. hran
12,7	12,00	4,76	1,3	1,00	5,50	9	8,3	2	4



Obr. 4.2 Tvar řezné destičky CERATIZIT XOLT120410 SR-M50 CPT2235 [11]

Přibližný výpočet úhlu nastavení hlavního ostří:

$$\kappa_r \doteq \arctan \frac{a_{p \max}}{B} = \arctan \frac{2}{8,3} = 13,55^\circ \quad (4.6)$$

Výpočet ortogonálního úhlu čela [3]:

$$\operatorname{tg} \gamma_o = \cos \kappa_r \cdot \operatorname{tg} \gamma_p + \sin \kappa_r \cdot \operatorname{tg} \gamma_p \quad (4.7)$$

Úhel čela v rovině boční γ_f je $-1,5^\circ$ až -2° , úhel čela v rovině zadní γ_p je 0° až 2°

[11], pak:

$$\gamma_o = \operatorname{arctg}(\cos 13,55 \cdot \operatorname{tg} 1 + \sin 13,55 \cdot \operatorname{tg}(-1,75))$$

$$\gamma_o = 0,56^\circ$$

Řezné podmínky doporučené výrobcemŘezná rychlost v_c :

- obrábění za použití procesní kapaliny [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] 60 až 140
- obrábění za sucha [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] 60 až 200

Hloubka řezu a_p [mm] 0,5 až 2Posuv na zub f_z [mm] 0,25 až 3**4.3.2 Průběh vlastního testování nástrojů**Řezné podmínky v 1. testu a výpočet potřebného výkonu stroje

Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	125
Otáčky n [min^{-1}] pro zvolenou řeznou rychlost	398
Hloubka řezu a_p [mm]	1,5
Posuv za minutu f_{min} [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	1 000
Posuv na zub f_z [mm]	0,314
Úhel záběru ϕ_s [°]	106,26
Střední tloušťka třísky h_m [mm]	0,064
Specifická řezná síla k_c [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]	4 364
Potřebný výkon hnacího motoru P [kW]	10,9

Řezné podmínky ve 2. testu a výpočet potřebného výkonu stroje

Řezná rychlost v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	125
Otáčky n [min^{-1}] pro zvolenou řeznou rychlost	398
Hloubka řezu a_p [mm]	1,5
Posuv za minutu f_{min} [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	1 600
Posuv na zub f_z [mm]	0,503
Úhel záběru ϕ_s [°]	106,26
Střední tloušťka třísky h_m [mm]	0,102
Specifická řezná síla k_c [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]	3 992
Potřebný výkon hnacího motoru P [kW]	16

Řezné podmínky ve 3. testu a výpočet potřebného výkonu stroje

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	125
Otáčky n [min ⁻¹] pro zvolenou řeznou rychlost	398
Hloubka řezu a_p [mm]	1,5
Posuv za minutu f_{min} [mm.min ⁻¹]	2 250
Posuv na zub f_z [mm]	0,707
Úhel záběru ϕ_s [°]	106,26
Střední tloušťka třísky h_m [mm]	0,143
Specifická řezná síla k_c [N.mm ⁻²]	3 741
Potřebný výkon hnacího motoru P [kW]	21,0

Při prvním testu nástroje byly odfrézovány dvě třísky po celé délce obrobku, poté byly pootočeny břitové destičky a stejným způsobem proveden 2. test.

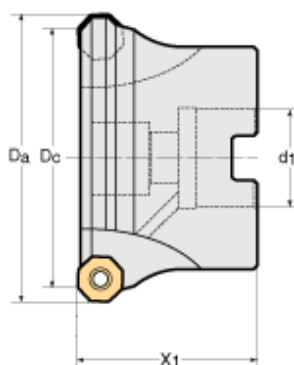
Při třetím testu bylo zjištěno, že pracovní posuv stroje je softwarově omezen na 2 250 m.min⁻¹, z tohoto důvodu nebylo možno vyzkoušet tento nástroj při vyšších posuvech, ačkoliv to konstrukce nástroje umožňuje a průběh obrábění byl bezproblémový. Při třetím testu byly ohrubovány všechny zbývající plochy obrobku (tj. 20 třísek po celé délce obrobku). Bylo zjištěno, že při těchto řezných podmínkách je nástroj schopen odfrézovat plochu o délce asi 40 m, poté je třeba pootočit nebo vyměnit břitové destičky.

4.4 Testování nástroje WALTER F4080.B32.100.Z05.04

4.4.1 Popis nástroje včetně VBD

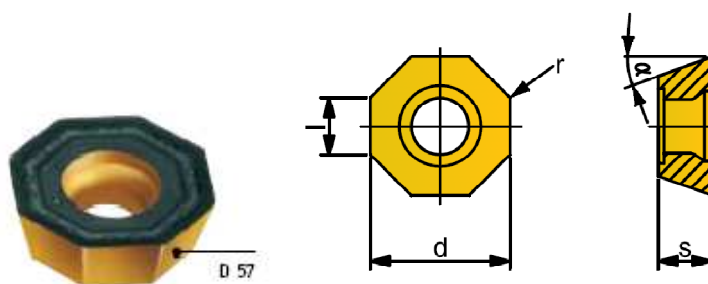
Tab. 4.4 Rozměry nástroje WALTER F4080.B32.100.Z05.04 [9]

D_a [mm]	D_c [mm]	x_1 [mm]	d_1 [mm]	K_r [°]	počet zubů
100	90	50	32	43	5



Obr. 4.3 Féza WALTER F4080 [9]

Obr. 4.4 Tvar řezné destičky WALTER ODMT0605ZZN-D57 WSM35 [9]



Tab. 4.5 Rozměry řezné destičky WALTER ODMT0605ZZN-D57 WSM35 [9]

d [mm]	l [mm]	r [mm]	s [mm]	α [°]	Počet řez. hran
15.88	6.58	0,8	5,56	15	8

Ortogonalní úhel čela získaný měřením:

$$\gamma_o = 2^\circ$$

Startovní řezné podmínky doporučené výrobcem

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	130 až 155
Max. hloubka řezu a_p [mm]	4
Posuv na zub f_z [mm]	0,15

4.4.2 Průběh vlastního testování nástrojů

Řezné podmínky v 1. testu a výpočet potřebného výkonu stroje

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	145
Otáčky n [min ⁻¹] pro zvolenou řeznou rychlost	462
Hloubka řezu a_p [mm]	3
Posuv za minutu f_{min} [mm.min ⁻¹]	600
Posuv na zub f_z [mm]	0,260
Úhel záběru ϕ_s [°]	106,26
Střední tloušťka třísky h_m [mm]	0,153
Specifická řezná síla k_c [N.mm ⁻²]	3 640
Potřebný výkon hnacího motoru P [kW]	10,9

Řezné podmínky ve 2. testu a výpočet potřebného výkonu stroje

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	145
Otáčky n [min ⁻¹] pro zvolenou řeznou rychlost	462
Hloubka řezu a_p [mm]	3
Posuv za minutu f_{min} [mm.min ⁻¹]	900
Posuv na zub f_z [mm]	0,390
Úhel záběru ϕ_s [°]	106,26
Střední tloušťka třísky h_m [mm]	0,230
Specifická řezná síla k_c [N.mm ⁻²]	3 370
Potřebný výkon hnacího motoru P [kW]	15,2

Řezné podmínky ve 3. testu a výpočet potřebného výkonu stroje

Řezná rychlost v_c [m.min ⁻¹]	145
Otáčky n [min ⁻¹] pro zvolenou řeznou rychlost	462
Hloubka řezu a_p [mm]	3
Posuv za minutu f_{min} [mm.min ⁻¹]	1 155
Posuv na zub f_z [mm]	0,500
Úhel záběru ϕ_s [°]	106,26
Střední tloušťka třísky h_m [mm]	0,295
Specifická řezná síla k_c [N.mm ⁻²]	3 214
Potřebný výkon hnacího motoru P [kW]	18,6

Při prvním testu nástroje byla odfrézována jedna tříska po celé délce obrobku. Po pootočení břitových destiček byl proveden podobným způsobem druhý test. Při třetím testu nástroje byly ohrubovány zbývající plochy obrobku (tj. 10 třísek po celé délce). Vzhledem k tomu, že při třetím testu byl již výrazně překročen posuv na zub doporučený výrobcem, bylo rozhodnuto již dál nepokračovat ve zostřování řezných podmínek. Při třetím testu i následující běžné výrobě tímto nástrojem (při shodných řezných podmínkách) bylo zjištěno, že nástroj vydrží bez otočení břitových destiček odfrézovat délku asi 40 metů. Délka odfrézovaná na jedno pootočení břitové destičky se pohybuje v rozmezí 32 až 50 metrů. Tento rozdíl odfrézovaných délek může být způsoben rozdílnými vlastnostmi obráběného materiálu, zejména je li odebírán materiál ze svaru, či jeho tepelně ovlivněné oblasti.

5 Volba vhodného nástroje

V této kapitole jsou vypočítány náklady na stroj a náklady na VBD jak pro výrobu původním nástrojem, tak oběma testovanými nástroji. Na základě tohoto výpočtu bude vybrán nástroj umožňující výrobu s nejnižšími náklady. Výpočet nákladů při použití původního nástroje vychází z řezných podmínek uvedených v kapitole 3.3. Výpočet nákladů při použití testovaných nástrojů vychází ze zvolených řezných podmínek použitých ve 3. testu obou nástrojů (kapitola 4).

Náklady na stroj

Srovnání nákladů na stroj při použití jednotlivých nástrojů jsou uvedeny v tab. 5.1. Výpočet je proveden podle následujících vzorců:

$$\text{Náklady na obrobek} = \frac{t_s}{60} \cdot \text{Hod. sazba stroje} \text{ [Kč]} \quad (5.1)$$

$$\text{Roční náklady na stroj} = \text{Náklady na obrobek} \cdot \text{Roční produkce kusů} \text{ [Kč]} \quad (5.2)$$

t_s [min] Hlavní strojní čas

$$t_s = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (5.3)$$

L [mm] Délka řezu (včetně délky náběhu a přebíhání frézy)

i [-] Počet řezů na obrobek

v_f [mm.min⁻¹] rychlost posuvu

Náklady na VBD

Výpočet nákladů na VBD je proveden podle níže uvedených vzorců. Náklady na VBD jsou uvedeny v tab. 5.2.

$$\text{Náklady na VBD/kus} = \text{Cena VBD} \cdot \text{Počet VBD na obrobek} \text{ [Kč]} \quad (5.4)$$

$$\text{Náklady na VBD/rok} = \text{Náklady na VBD/kus} \cdot \text{Roční produkce kusů} \text{ [Kč]} \quad (5.5)$$

$$\text{Počet VBD na obrobek} = \frac{L \cdot \text{počet zubů} \cdot \text{počet řezů na obrobek}}{\text{počet řez.hran} \cdot \text{délka odfrézování na jedno pootočení VBD}} \quad (5.6)$$

Tab. 5.1 Porovnání nákladů na stroj při obrábění jednotlivými nástroji

Nástroj	WALTER F4042.B. 100.Z08.15	CERATIZIT AHFC.100.R.08 -12	WALTER F4080.B32.100. Z05.04
Hodinová sazba stroje [Kč]	2 109		
Délka řezu [mm]	9 250		
Počet řezů na obrobek [-]	12	24	12
Rychlost posuvu [mm.min ⁻¹]	400	2 250	1 155
Hlavní strojní čas [min]	278	99	96
Roční produkce kusů [-]	50		
Náklady na obrobek [Kč]	9 754	3 468	3 378
Roční náklady na stroj [Kč]	487 706	173 407	168 903

Tab. 5.2 Porovnání nákladů na VBD při obrábění jednotlivými nástroji

Nástroj	WALTER F4042.B. 100.Z08.15	CERATIZIT AHFC.100.R.08 -12	WALTER F4080.B32.100. Z05.04
Břítové destičky	ADMT160602R -F56 WSM35	XOLT120410 SR-M50 CPT2235	ODMT0605ZZN -D57 WSM35
Cena za VBD [Kč]	291,90	110,30	219,00
Počet řezných hran [-]	2	4	8
Náklady na řeznou hranu [Kč]	145,95	27,58	27,38
Počet VBD na obrobek [-]	11,1	11,1	1,7
Roční produkce kusů [-]	50		
Náklady na VBD/kus [Kč]	3 240	1 224	380
Roční náklady na VBD [Kč]	162 004	61 216	18 991

Z tabulkového porovnání nákladů je patrné, že nástroj WALTER F4080.B32.100.Z05.04 osazený břitovými destičkami ODMT0605ZZN-D57 WSM35 umožňuje obrábění s nejnižšími náklady na stroj i na břitové destičky.

Při použití tohoto nástroje při uvedených řezných podmínkách není plně využit výkon stroje. Pro lepší využití výkonu stroje doporučuji otestovat nástroj WALTER F4080.B32.100.Z07.04. Tento nástroj lze osadit stejným typem VBD a má stejné parametry jako F4080.B32.100.Z05.04 s tím rozdílem že má 7 břitů. Zachování stejných řezných podmínek (v_c , f_z , a_p) by při použití tohoto nástroje znamenalo zvýšení rychlosti posuvu (ze $1\,155\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ na $1\,617\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$). Tím by se zkrátil hlavní strojní čas (na 69 min) a klesly by náklady na stroj. Použitý posuv na zub (0,5 mm) však u tohoto typu nástroje překračuje posuv doporučený výrobcem a při obrábění nástrojem s vyšším počtem břitů je větší riziko vzniku vibrací.

6 Zhodnocení a závěr

Cílem této bakalářské práce bylo volbou vhodného hrubovacího nástroje dosáhnout úspory výrobních nákladů a snížení hlavního strojního času při obrábění vedení navíjecích zařízení.

Za tímto účelem byly v podmínkách výroby otestovány dva nástroje a to CERATIZIT AHFC.100.R.08-12 a WALTER F4080.B32.100.Z05.04. Na základě těchto testů byly stanoveny vhodné řezné podmínky pro obrábění oběma nástroji. Dále byly spočítány náklady na stroj a náklady na vyměnitelné břitové destičky při použití původního nástroje a při použití obou testovaných nástrojů. Se srovnání nákladů vyplynulo, že hrubování s nejnižšími náklady umožňuje nástroj WALTER F4080.B32.100.Z05.04. Úspory a uvolněná strojní kapacita na jeden rok při použití tohoto nástroje oproti původnímu nástroji jsou uvedeny v tab 6.1.

Tab. 6.1 Porovnání nákladů a hlavního strojního času (údaje jsou vztaženy na rok)

	Původní nástroj (WALTER F4042. B.100.Z08.15)	Nový nástroj (WALTER F4080. B32.100.Z05.04)
Náklady na stroj [Kč]	487 706	168 903
Náklady na VBD [Kč]	162 004	18 991
Hlavní strojní čas [h]	232	80
Roční úspora nákladů [Kč]	461 816	
Uvolněná strojní kapacita [h]	152	

Při obrábění zvoleným nástrojem nedochází k plnému využití výkonu stroje. Pro lepší využití výkonu stroje by bylo možné použít nástroj stejné konstrukce s více břity za jinak stejných řezných podmínek (řezná rychlost, posuv na zub, hloubka řezu). Tím by bylo dosaženo dalšího zkrácení hlavního strojního času i nákladů na stroj.

Vzhledem k omezení pracovního posuvu na stroji nebylo možné využít při obrábění nástrojem CERATIZIT AHFC.100.R.08-12 vysokého posuvu na zub doporučeného výrobcem. Vzhledem k tomuto omezení platí výsledek porovnání obou testovaných nástrojů pouze v těchto podmínkách a nelze ho zevšeobecnit.

Použitá literatura

- [1] HUMÁR, Antonín. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [2] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina: Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [3] MRKVICA, Ivan. *Návody do cvičení z obráběcích nástrojů – 1. část. 2. vydání*. Ostrava: VŠB – technická univerzita Ostrava, 2006. 148 s. ISBN 80-248-1053-0
- [4] BOHDAN BOLZANO. Kladno, ČR. *Technická příručka*. [online]. [cit. 2.3.2009]. Dostupné na: < <http://prirucka.bolzano.cz/>>.
- [5] SANDVIK Coromant, technická redakce. *Příručka pro obrábění*. Praha: Scientia s.r.o. Praha, 1997. 910s. ISBN 9–97–22 99–4-6.
- [6] PRAMET TOOLS s. r. o. Šumperk, ČR. *Příručka obrábění*. [online]. [cit. 16.3.2008]. Dostupné na: <http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/prirucka_cz.pdf>.
- [7] HOFFMANN GROUP. Ejpovice ČR. *Garant – Příručka obrábění*. [online]. [cit. 3.1.2009]. Dostupné na: <<http://www.hoffmann-group.com/download/cz/zerspanungshandbuch/cz-zerspanungshandbuch.pdf>>.
- [8] TOS KUŘIM. Kuřim, ČR. *Technická nabídka – Verze 04/2004*, 2004. 38 s.
- [9] WALTER AG. Tübingen, Germany. *Walter Online Katalog*. [online]. [cit. 5.2.2009]. Dostupné na: <<http://www.walter-tools.com/sandvik/3422/Internet/S001867.nsf>>.
- [10] WALTER CZ s. r. o. Kuřim, ČR. *Souhrnný katalog*. 2007. 823s.
- [11] CERATIZIT - Office Czech Republic. Velké Meziříčí, ČR. *Nástroje a břitové destičky pro frézování*. [online]. [cit. 13.2.2009]. Dostupné na: <http://www.ceratizit.com/4170_ENG_HTML.php?lc=7&entryId=1000313767_BS&expandId=1000313909>.

Přílohy

Příloha 1 – výkres obráběné součásti upravený pro potřebu bakalářské práce

Příloha 2 – CD